PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6:

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: A1

WO 98/50880

G06K 9/66, G07C 9/00

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

PT, SE).

12. November 1998 (12.11.98)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE98/01051

(22) Internationales Anmeldedatum:

14. April 1998 (14.04.98)

(30) Prioritätsdaten:

197 19 469.9

7. Mai 1997 (07.05.97)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WIRTZ, Brigitte [DE/DE]; Erlkamerstrasse 3, D-83607 Holzkirchen (DE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen

(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,

(54) Title: COMPUTER-CONTROLLED ADAPTATION OF REFERENCE DATA BY MEANS OF INPUT DATA

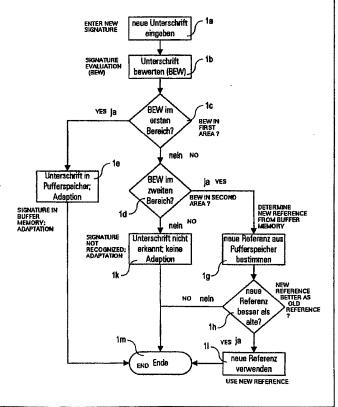
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ANPASSUNG EINES REFERENZDATENSATZES ANHAND MINDESTENS EINES EINGABEDATENSATZES DURCH EINEN RECHNER

### (57) Abstract

The invention pertains to a method for preventing denial increase within the context of signature authenticaion as a result of changes occurring naturally in the signature of an individual. The "natural" changes appearing in a signature are adapted to a reference signature, a deviation from any bogus signature being duly kept to prevent adaptation from getting too close to a possible counterfeiter. To this end, the signature is assessed taking into account such a deviation from the reference signature, and the assessment measurements are divided into areas which reflect the signature quality, depending on which an adaptation of the signature will be deemed necessary or not.

### (57) Zusammenfassung

Mit dem Verfahren wird gewährleistet, daß sich natürliche Veränderungen in der Unterschrift einer Person, im Rahmen einer Authentisierung dieser Person durch ihre Unterschrift, nicht in Form steigender Zurückweisungen niederschlagen. "Natürliche" Veränderungen in der Unterschrift der Person werden an eine Referenzunterschrift angepaßt, wobei ein gebührender "Abstand" zu einer möglichen gefälschten Unterschrift eingehalten wird, um nicht in Richtung eines potentiellen Fälschers zu adaptieren. Dazu wird die Unterschrift abhängig von ihrem Abstand zur Referenzunterschrift bewertet und dieses Bewertungsmaß in Bereiche aufgeteilt, die die Qualität der Unterschrift reflektieren. Es wird ausgehend von der Güte eine Beurteilung möglich, ob eine Adaption durchgeführt wird oder nicht.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litanen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LÜ	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
ΑZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Кепіа	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	Z₩	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumanien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

### Beschreibung

Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner.

Bekannte Verfahren zur Verifikation des Teilnehmers, z.B. durch Eingabe eines Paßworts oder mittels einer Chipkarte, beruhen darauf, daß der Teilnehmer über nur ihm bekanntes Wissen verfügt (Paßwort) oder nur er das entsprechende Medium für die Gewährung des Zugangs (Chipkarte) besitzt.

15

Alternativ dazu bedient sich die Biometrie einer physiologischen oder einer verhaltenstypischen Eigentümlichkeit des Teilnehmers bei der automatischen Identitätsverifikation oder generell zur Authentifikation.

20

25

30

Physiologische Verfahren bedienen sich dabei menschlicher Eigentümlichkeit, die sich im Normalfall nicht oder nur wenig ändert. Entsprechende Merkmale weisen die Vorteile auf, daß sie nicht gestohlen und nur mit großer Mühe kopiert werden können.

Eine Unterschriftsverifikation ist ein biometrisches Verfahren. Dabei wird eine in einen Rechner eingegebene Unterschrift verarbeitet, unabhängig vom Textinhalt, mit dem Ziel, die Authentizität des Schreibers entweder zu bestätigen

oder zu verneinen.

Aus [1] ist bekannt, eine Unterschrift mittels eines elektromagnetischen Tabletts in elektronischer Form zu erhalten. Eine derartige (elektronische) Unterschrift umfaßt mehrere Kenngrößen, z.B. Koordinateninformation, Druck und Geschwindigkeit jeweils zu diskreten Abtastzeitpunkten.

Eine Verifikation eines Eingabedatensatzes beruht auf einem Vergleich mit einem Referenzdatensatz. Im Fall einer Unterschriftsverifikation handelt es sich bei dem Referenzdatensatz um eine elektronische Unterschrift, im weiteren als "Referenzunterschrift" bezeichnet; der Eingabedatensatz ist eine aktuell angeforderte, beispielsweise mittels eines elektronischen Tabletts eingegebene Unterschrift.

10

Es ist allgemein bekannt, daß von Hand geschriebene Unterschriften derselben Person einander nicht exakt gleichen. Außerdem können sich wesentliche Merkmale der Unterschrift einer Person mit der Zeit ändern.

15

Aus [2] ist ein Verfahren zur Referenzdatenadaption bekannt. Allerdings ist dabei eine Gefahr der Fälscheradaption hoch.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, Referenzdaten, die 20 über die Zeit einer Veränderung unterliegen, automatisch dieser Veränderung anzupassen ohne dabei einer Fälscheradaption zu unterliegen.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 25 gelöst.

Die Erfindung gibt ein Verfahren zur Anpassung eines
Referenzdatensatzes anhand mindestens eines
Eingabedatensatzes durch einen Rechner an. Dazu wird zunächst

für den mindestens einen Eingabedatensatz ein Bewertungsmaß
bestimmt, das eine Übereinstimmung mit dem einen
Referenzdatensatz kennzeichnet. Wenn das Bewertungsmaß
innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs liegt, wird der
Eingabedatensatz in einen Pufferspeicher eingetragen und ein
neuer Referenzdatensatz ermittelt. Liegt das Bewertungsmaß
innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs, so wird ein
nächster Referenzdatensatz aus den Datensätzen des

Pufferspeichers ermittelt. Ist der nächste Referenzdatensatz "besser" als der (alte) Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz anstelle des (alten) Referenzdatensatzes verwendet. Ist der nächste Referenzdatensatz hingegen "schlechter" als der (alte) Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz verworfen. Liegt das Bewertungsmaß innerhalb eines dritten Bereichs, so bleibt der Referenzdatensatz unverändert bestehen.

10

Dabei ist ein erster Datensatz "besser" als ein zweiter
Datensatz, wenn ein durch ein Bewertungsmaß definierter
Abstand des ersten Datensatzes zu dem Referenzdatensatz
kürzer (also besser mit dem Referenzdatensatz übereinstimmt)
als der Abstand von dem zweiten Datensatz zu dem
Referenzdatensatz ist. Analog dazu ist dann der zweite
Datensatz "schlechter" als der erste Datensatz.

Vorzugsweise wird der Referenzdatensatz bestimmt, indem
vorgebbare Kenngrößen einer vorgebbaren Anzahl an Datensätzen
gemittelt werden. Dabei gibt es, wie aus [1] bekannt ist, zu
jedem Abtastzeitpunkt einen Datensatz (Vektor), der die
Kenngrößen für diesen Abtastzeitpunkt enthält. Unter
Berücksichtigung aller oder eines Teils dieser Kenngrößen
wird ein Referenzdatensatz durch Mittelung der Werte
ermittelt.

Dazu alternativ kann der Referenzdatensatz aus einer Menge von Originaldatensätzen, also Datensätzen, bei denen sichergestellt ist, daß sie vom autorisierten Teilnehmer stammen, ausgewählt werden, der in dem durch die Kenngrößen bestimmten Merkmalsraum die beste Beschreibung der Originaldatensätze darstellt.

Diese beiden Möglichkeiten sind ohne Einschränkung lediglich zwei Alternativen zur <u>Referenzdatensatzbestimmung</u>. Es sind

vielerlei andere Möglichkeiten denkbar, die in der Erfindung ebenso Verwendung finden können.

Eine Weiterbildung des Pufferspeichers ist ein Ringpuffer,

der eine vorgebbare Anzahl an Datensätzen enthält. Ein
Ringpuffer zeichnet sich dadurch aus, daß darin der älteste
Datensatz gelöscht wird, sobald ein neuer Datensatz
hinzugefügt wird. Dies gilt natürlich unter der
Voraussetzung, daß der Ringpuffer voll ist, da ansonsten der
neue Datensatz einfach hinzugefügt wird.

Eine nächste Weiterbildung der Erfindung besteht darin, den Eingabedatensatz als einen Originaldatensatz zu verifizieren, falls das Bewertungsmaß innerhalb des ersten Bereichs oder des zweiten Bereichs liegt. Liegt das Bewertungsmaß für den Eingabedatensatz außerhalb des ersten oder des zweiten Bereichs, so ist eine Verifikation des Eingabedatensatzes zu verneinen; der Eingabedatensatz wird als eine Fälschung betrachtet.

20

25

15

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß Originaldatensätze gemäß einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Eine derartige Wahrscheinlichkeitsverteilung kann eine Normalverteilung mit einem Erwartungswert und einer Standardabweichung sein.

Ferner ist im Rahmen einer zusätzlichen Weiterbildung der Referenzdatensatz durch den Erwartungswert der Originaldatensätze bestimmt.

30

Schließlich kann eine Unterteilung der einzelnen Bereiche durch folgende Notation bestimmt sein:

Erster Bereich: BEW  $\in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma]$ ,

35

Zweiter Bereich: BEW  $\in \left[\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \mu + \alpha_2 \cdot \sigma\right]$ ,

WO 98/50880 PCT/DE98/01051

5

Dritter Bereich: BEW  $\in [\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \infty]$ ,

wobei

5

15

BEW das Bewertungsmaß,

 $\mu$  den Erwartungswert,

σ die Standardabweichung,

 $lpha_1$  einen vorgebbarer Parameter, mit dem eine obere Schranke des ersten Bereichs bestimmt wird,

 $\alpha_2$  einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere Schranke des zweiten Bereichs bestimmt wird,

10 bezeichnen.

Auch ist es möglich zusätzlich den Wertebereich des Berwertungsmaßes in einen vierten Bereich zu unterteilen, der zwischen dem zweiten und dem dritten Bereich liegt und mittels vorgebbarer Schwellen bestimmt ist. In diesem Bereich können Originaldatensätze liegen, die als solche erkannt werden, ohne daß der Referenzdatensatz verändert wird.

Im Rahmen einer Anwendung der Erfindung kann es sich bei den erwähnten Datensätzen um Unterschriften handeln, die elektronisch aufgenommen und abgespeichert werden und die eine vorgebbare Menge von Kenngrößen umfassen (siehe auch Beschreibungseinleitung).

Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen dargestellt und erläutert.

Es zeigen

10

- Fig.1 ein Blockdiagramm, das Schritte eines Verfahrens zur Anpassung mindestens eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes enthält,
- 5 Fig.2 eine Skizze, die unterschiedliche Bereiche in einem Bewertungsraum zur Verifikation einer Unterschrift zeigt,
  - Fig.3 eine Skizze, die aufbauend auf Fig.2 einen zusätzlichen Bereich innerhalb des Bewertungsraums zeigt.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel, das sich mit der Anwendung "Unterschriftsverifikation" befaßt, dargestellt.

Bevor ein Teilnehmer mittels seiner Unterschrift elektronisch verifiziert werden kann, wird aus einer Reihe von Unterschriften eine Referenzunterschrift (Referenzdatensatz) ermittelt. Dies geschieht durch eines der oben erwähnten Verfahren zur Referenzdatensatzbestimmung. Dabei wird aus mehreren geleisteten Unterschriften, die nachweislich vom Teilnehmer selbst stammen (authentische Unterschriften), eine Referenzunterschrift ermittelt.

Die mittels Referenzdatensatzbestimmung eingangs gefundene 25 Referenzunterschrift basiert auf den Originaldatensätzen, die der Teilnehmer zum Anlegen des Referenzdatensatzes gemacht hat. Diese Originaldatensätze (Unterschriften) sind sich ähnlicher als eine Unterschrift, die zu einem späteren Zeitpunkt von diesem Teilnehmer abgegeben wird. Weiterhin 30 unterliegt eine Unterschrift einer langfristigen Veränderung bedingt durch das Schreibverhalten des Teilnehmers. Demzufolge wird ein authentischer Teilnehmer, wenn sich seine Unterschrift beispielsweise über Jahre verändert hat, mit einer wachsenden Zurückweisungsrate rechnen müssen, bis er schließlich von dem System eines Tages überhaupt nicht mehr 35 als autorisierter Teilnehmer erkannt wird, falls keine wie in dieser Erfindung beschriebene Anpassung an die "natürliche"

WO 98/50880 PCT/DE98/01051

7

Veränderung in der Unterschrift des Teilnehmers stattgefunden hat.

Die Lösung besteht, wie oben erwähnt, darin, daß einer schleichenden Veränderung der Unterschrift durch Anpassung der Referenzunterschrift begegnet wird. Dabei entsteht ein Problem der Fälscheradaption, d.h. es muß sichergestellt sein, daß eine Anpassung nicht auf die Eigenheiten einer Unterschrift eines potentiellen Fälschers hin adaptiert wird.

10

Die Erfindung stellt ein Verfahren zur Adaption der Referenzunterschrift vor, das sicherheitsrelevante Kriterien berücksichtigt und Veränderungen im Unterschriftsverhalten des Originalteilnehmers kompensiert.

15

20

#### FIGUR 1:

In Fig.1 werden anhand eines Blockdiagramms Schritte des Verfahrens zur Adaption der Referenzunterschrift (Referenzdatensatz) dargestellt. Vorausgesetzt wird, daß, wie oben ausführlich dargelegt ist, eine Referenzunterschrift aus einer Menge von Originaldatensätzen ermittelt wurde (Referenzdatensatzbestimmung).

In einem Schritt 1a wird ein neuer Eingabedatensatz

hinzugefügt, d.h. eine Unterschrift wird geleistet und
elektronisch erfaßt. Im Schritt 1b wird die elektronische
Unterschrift bewertet. Hierzu wird mittels eines geeigneten
Verfahrens ein Abstand zur Referenzunterschrift bestimmt und
als ein Bewertungsmaß BEW gespeichert. Liegt das

Bewertungsmaß BEW in einem ersten Bereich, nachfolgend als

Aktualisierungsbereich bezeichnet, so wird die Unterschrift verifiziert und in einen Pufferspeicher eingetragen.

Der Pufferspeicher ist vorzugsweise ein Ringpuffer, d.h. er verfügt über eine vorgebbare Anzahl an freien Speicherplätzen, wobei, wenn alle Speicherplätze im Ringpuffer belegt sind, mit dem Hinzufügen eines neuen

Я

Datensatzes in den Ringpuffer der älteste Datensatz gelöscht wird. Sind nicht alle Speicherplätze des Ringpuffers belegt, so entfällt das Löschen eines Datensatzes, der neue Datensatz wird nur in den Ringpuffer eingefügt.

5

Im Schritt 1e wird die Unterschrift in den Pufferspeicher eingetragen und der Referenzdatensatz angepaßt. Dabei wird erreicht, daß eine Unterschrift (Eingabedatensatz), die in dem Aktualisierungsbereich, also mit einem vorgebbaren Abstand zu einer Fälschung, liegt, eine Adaption einleitet. "Gute" Unterschriften werden zu einer "natürlichen" Veränderung der Unterschrift des autorisierten Teilnehmers herangezogen. Diese Anpassung der Referenzunterschrift wird nachfolgend näher erläutert:

15

10

Generell besteht eine Referenzunterschrift aus vielen
Unterschriften, wobei die Referenzunterschrift eine
Gewichtung entsprechend der Anzahl der ihr zugrundeliegenden
Unterschriften enthält. Wurde eine Referenzunterschrift Uref
beispielsweise aus 10 Unterschriften gewonnen und kommt eine
weitere Unterschrift U hinzu, so findet eine Anpassung zu
einer neuen Referenzunterschrift Uref, neu derart statt, daß
gilt:

25 
$$U_{ref,neu} = \frac{10}{11} U_{ref} + \frac{1}{11} U$$
 (1).

Entscheidend dabei ist die Gewichtung der (alten)
Referenzunterschrift, die der Anzahl (hier 10) der ihr
zugrundeliegenden Originalunterschriften entspricht. Wird
eine weitere Anpassung der neuen Referenzunterschrift
Uref,neu in eine weitere Referenzunterschrift Uref,neu'
vorgenommen mittels einer weiteren Originalunterschrift U',
so gilt analog zu Gleichung (1):

35 
$$U_{ref,neu'} = \frac{11}{12} U_{ref,neu} + \frac{1}{12} U$$
 (2).

So setzt sich die Anpassung immer weiter fort, wobei das Gewicht der neu hinzukommenden Unterschrift  $U_{\bf i}$ ' immer weiter abnimmt (vergleiche U mit U'). Abhilfe schafft hier eine Schwelle SW, die eine vorgebbares Mindestgewicht jeder hinzukommenden Unterschrift  $U_{\bf i}$ ' gewährleistet:

$$U_{\text{ref,i'}} = \frac{SW - 1}{SW} U_{\text{ref,i}} + \frac{1}{SW} U_{\text{i'}}$$
(3).

Liegt das Bewertungsmaß in einem zweiten Bereich (siehe Schritt 1c), fortan als Referenzbildungsbereich bezeichnet, wird eine nächste Referenzunterschrift gemäß dem Verfahren zur Referenzdatensatzbestimmung gebildet (Schritt 1g), wobei dazu die Datensätze des Pufferspeichers verwendet werden, und dieser nächste Referenzdatensatz mit dem (alten) Referenzdatensatz verglichen (Schritt 1h). Ist der nächste Referenzdatensatz besser als der alte Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz verwendet, der (alte) Referenzdatensatz wird verworfen (Schritt 1i).

20

Ist der nächste Referenzdatensatz nicht besser als der (alte) Referenzdatensatz (Schritt 1h), so wird keine weitere Anpassung vorgenommen. Der (alte) Referenzdatensatz bleibt bestehen.

25

30

Liegt das Bewertungsmaß nicht innerhalb des
Referenzbildungsbereichs, so wird im Schritt 1k die
Unterschrift nicht verifiziert, es findet natürlich auch
keinerlei Adaption eines Referenzdatensatzes statt. In diesem
Fall wird der Teilnehmer nicht verifiziert, sei es, daß er
eine schlechte Unterschrift abgegeben hat, oder sei es, daß
es sich um eine Fälschung handelt.

Der Vollständigkeit halber ist in Fig.1 ein Endzustand 1m angegeben, der anzeigt, daß das dargestellte Verfahren dort

terminiert. Die verschiedenen Äste im Blockdiagramm von Fig.1 enden alle in diesem Endzustand 1m.

#### FIGUR 2:

In Fig.2 sind in einem zweidimensionalen Diagramm eine Anzahl der Unterschriften AU auf der Ordinate und das Bewertungsmaß BEW auf der Abszisse angetragen. Die Originaldatensätze sind nach einer Wahrscheinlichkeitsverteilung angenommen (Normalverteilung).

10

Die Verteilung der Originaldatensätze ist bestimmt durch den Erwartungswert  $\mu$ . Die oben beschriebenen drei Bereiche werden hier veranschaulicht, wobei gilt:

15 erster Bereich = Aktualisierungsbereich AB mit BEW  $\in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma]$ ,

zweiter Bereich = Referenzbildungsbereich RBB mit BEW  $\in \left[\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \ \mu + \alpha_2 \cdot \sigma\right]$ ,

20

dritter Bereich = Fälschungsbereich FB  $\text{mit BEW} \in \left[\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \ldots \right].$ 

Im Aktualisierungsbereich AB liegende Eingabedaten führen zu
einer Adaption (erneute Referenzdatensatzbestimmung), während
bei Eingabedaten aus dem Referenzbildungsbereich zuerst
überprüft wird, ob dadurch in die "richtige" Richtung, also
hin zu den Originaldatensätzen und nicht zu den Fälschungen
adaptiert wird, ehe eine Referenzdatensatzbestimmung
initiiert wird.

Der Aktualisierungsbereich AB dient zum Abfangen langsamer Veränderung in der Unterschrift eines autorisierten Teilnehmers, während im Referenzbildungsbereich RBB stärkere Schwankungen (Veränderungen) in der Unterschrift berücksichtigt werden. Da der Pufferspeicher nur

WO 98/50880 PCT/DE98/01051

11

Unterschriften aus dem Aktualisierungsbereichs enthält, wird eine Adaption zum Fälscher hin deutlich erschwert.

Die vorgebbaren Parameter  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  werden derart angegeben, daß zum einen keine Fälschungen in die laufende Adaption gelangen (abhängig von  $\alpha_1$ ) und zum anderen die Gleichfehlerrate zwischen Originalen und Fälschungen möglichst klein wird (abhängig von  $\alpha_2$ ).

### 10 FIGUR 3:

In Fig.3 wird zusätzlich zu Fig.2 und den dort eingeführten Bezeichnungen ein vierter Bereich (Erkennungsbereich EB) dargestellt. Bei Unterschriften, deren Bewertungsmaß in diesem Bereich liegt, handelt es sich noch um

Originalunterschriften, es wird aber keine Referenzbildung evaluiert (wie im Referenzbildungsbereich RBB) und auch keine Anpassung (wie im Aktualisierungsbereich AB) vorgenommen. Die Unterschrift wird verifiziert, die vorhandene Referenzunterschrift erfährt keine Veränderung.

Im Rahmen dieses Dokuments wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] Deutsche Patentschrift 195 11 470.1-53
- [2] T.K.Worthington, T.J.Chainer, J.D.Williford,
   S.C.Gunderen: IBM Dynamic Signature Verification,
   Computer Society, IFIP 1985, S.129-154.

BNSDOCID: <WO\_\_\_\_9850880A1\_I\_>

### Patentansprüche

5

10

15

20

25

- Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner,
  - a) bei dem für den (mindestens einen) Eingabedatensatz ein Bewertungsmaß (BEW) bestimmt wird hinsichtlich einer Übereinstimmung mit dem mindestens einen Referenzdatensatz,
  - b) bei dem, wenn das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs (AB) liegt, der Eingabedatensatz in einen Pufferspeicher eingetragen wird und ein neuer Referenzdatensatz ermittelt wird,
  - c) bei dem, wenn das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs (RBB) liegt, ein nächster Referenzdatensatz aus den Datensätzen aus dem Pufferspeicher ermittelt wird und.

falls der nächste Referenzdatensatz besser als der (alte) Referenzdatensatz ist, der nächste Referenzdatensatz verwendet und der (alte) Referenzdatensatz verworfen wird.

ansonsten, falls der nächste Referenzdatensatz schlechter als der (alte) Referenzdatensatz ist, wird der nächste Referenzdatensatz verworfen,

- d) bei dem ansonsten der Referenzdatensatz nicht verändert wird.
- Verfahren nach Anspruch 1,
   bei dem der Referenzdatensatz bestimmt wird, indem vorgebbare Kenngrößen einer vorgebbaren Anzahl von Datensätzen gemittelt werden.
- Verfahren nach Anspruch 1,
   bei dem der Datensatz als Referenzdatensatz aus einer vorgebbaren Anzahl Datensätze ausgewählt wird, dessen
   Kenngrößen die ausgewählten Datensätze am besten beschreiben.

- 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Pufferspeicher ein Ringpuffer mit einer vorgebbaren Anzahl Datensätze ist.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
  bei dem der Eingabedatensatz ein Originaldatensatz ist,
  falls das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb des ersten oder
  zweiten Bereichs liegt, oder eine Fälschung ist, falls
  das Bewertungsmaß (BEW) außerhalb des ersten oder zweiten
  Bereichs liegt.
  - Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Originaldatensätze nach einer Wahrscheinlichkeitsverteilung verteilt sind.

15

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Wahrscheinlichkeitsverteilung eine Normalverteilung mit einem Erwartungswert und einer Standardabweichung ist.

20

- 8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Referenzdatensatz dem Erwartungswert der Originaldatensätze entspricht.
- 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei dem der erste Bereich bestimmt wird durch das Intervall

BEW 
$$\in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma]$$
,

30

wobei

BEW das Bewertungsmaß,

 $\mu$  den Erwartungswert,

σ die Standardabweichung,

 $\alpha_1$  einen vorgebbarer Parameter, mit dem eine obere Schranke des ersten Bereichs bestimmt wird, bezeichnen.

WO 98/50880 PCT/DE98/01051

15

und bei dem der zweite Bereich bestimmt wird durch das Intervall

5 BEW  $\in \left[\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \ \mu + \alpha_2 \cdot \sigma\right]$ ,

wobei

 $\alpha_2$  einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere Schranke des zweiten Bereichs bestimmt wird,

10 bezeichnet,

und bei dem ein dritter Bereich bestimmt wird durch das Intervall

15 BEW  $\in \left[\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \infty\right]$ ,

wobei der dritte Bereich die Fälschungen umfaßt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
20 bei dem der Eingabedatensatz, der in einem vierten
Bereich zwischen dem zweiten und dem dritten Bereich mit
vorgebbaren Schwellwerten liegt, als Originaldatensatz
erkannt wird, weiterhin der Referenenzdatensatz aber
nicht verändert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Datensätze Unterschriften sind, die elektronisch aufgenommen und abgespeichert werden und die eine vorgebbare Menge von Kenngrößen umfassen.

30



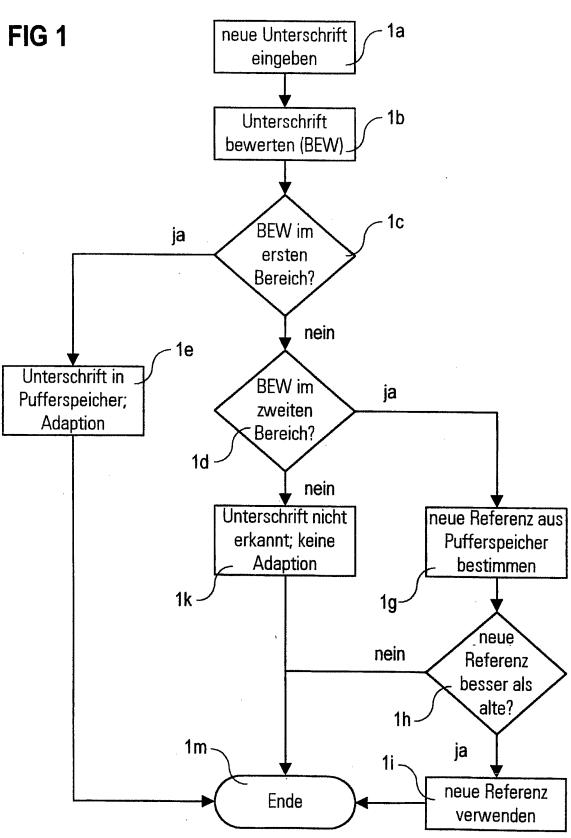


FIG 2

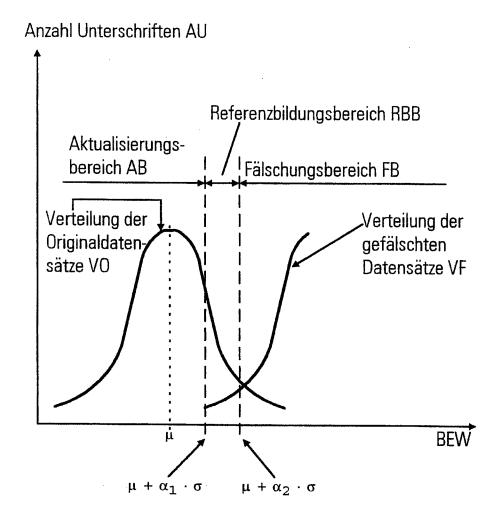
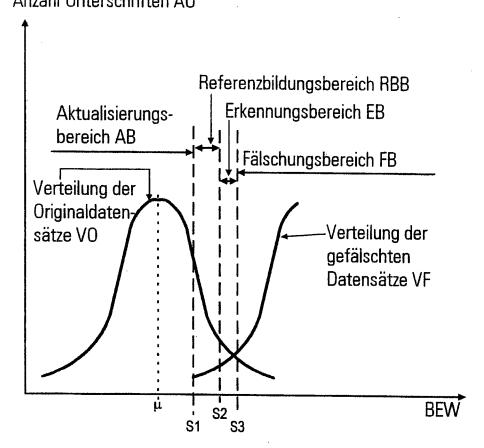


FIG 3





### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. tional Application No PCT/DE 98/01051

			101/02 30/01031			
A. CLASSI IPC 6	FICATION OF SUBJECT MATTER G06K9/66 G07C9/00					
According to	o International Patent Classification(IPC) or to both national classif	ication and IPC				
	SEARCHED					
Minimum do IPC 6	cumentation searched (classification system followed by classifica $606K$	ition symbols)				
Documentat	lion searched other than minimum documentation to the extent that	such documents are incl	uded in the flelds searched			
Electronic d	ata base consulted during the international search (name of data t	pase and, where practical	l, search terms used)			
C. DOCUMI	ENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT					
Category <sup>3</sup>	Citation of document, with indication, where appropriate, of the re	elevant passages	Relevant to claim No.			
A	GB 2 104 698 A (QUEST AUTOMATION 9 March 1983 see page 7, line 44 - page 8, l	1				
А	US 4 724 542 A (WILLIFORD JOHN ( 9 February 1988 see figures 1,2	1				
A	US 5 052 043 A (GABORSKI ROGER 9 24 September 1991 see abstract	. 1				
A	ANTHONY N J ET AL: "SUPERVISED FOR SIGNATURE VERIFICATION SYSTI IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLET vol. 21, no. 1, June 1978, page XP002060376 see the whole document	EM" IN,				
Furti	her documents are listed in the continuation of box C.	X Patent family	members are listed in annex.			
"A" docume consid "E" earlier o	ategories of cited documents:  ent defining the general state of the art which is not detered to be of particular relevance document but published on or after the international date.  ent which may throw doubts on priority claim(s) or	blished after the international filing date ind not in conflict with the application but not the principle or theory underlying the cular relevance; the claimed invention leted novel or cannot be considered to				
which citation citation other if "P" docume later if	ive step when the document is taken alone cular relevance; the claimed invention lered to involve an inventive step when the bined with one or more other such docubination being obvious to a person skilled or of the same patent family					
Date of the actual completion of theinternational search  Date of mailing of the international search report						
1	6 October 1998	23/10/1	1998			
Name and r	mailing address of the ISA  European Patent Office, P.B. 5818 Patentiaan 2  NL - 2280 HV Rijswijk  Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  Fax: (+31-70) 340-3016	, M				

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inta .ional Application No PCT/DE 98/01051

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date	
GB 2104698	Α	09-03-1983	US	4495644 A	22-01-1985	
US 4724542	Α	09-02-1988	JP	62177680 A	04-08-1987	
US 5052043	A	24-09-1991	EP WO	0527895 A 9117520 A	24-02-1993 14-11-1991	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int tionales Aktenzeichen PCT/DF 98/01051

		PCI/DE	98/01051
a. klassi IPK 6	FIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES G06K9/66 G07C9/00		, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
Nach der In	ternationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klass	sifikation und derIPK	
B. RECHE	RCHIERTE GEBIETE		
Recherchies IPK 6	rter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbol G06K	e)	
Recherchie	rte aber nicht zum Mindestprüfstoffgehörende Veröffentlichungen, sow	veit diese unter die recherchierten Geb	iete fallen
Während de	er internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Na	ume der Datenbank und evtl. verwend	ete Suchbegriffe)
CAISW	ESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe	der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
	g, some finger		
Α	GB 2 104 698 A (QUEST AUTOMATION) 9. März 1983		1
	siehe Seite 7, Zeile 44 - Seite 8 21	, Zeile	
A	US 4 724 542 A (WILLIFORD JOHN D) 9. Februar 1988 siehe Abbildungen 1,2		1
Α	US 5 052 043 A (GABORSKI ROGER S) 24. September 1991 siehe Zusammenfassung		1
		/	
	itere Veröffent⊌chungen sind der Fortsetzung von Feld C zu nehmen	X Siehe Anhang Patentfamilie	
"A" Veröff, aber "E" älleres Anm "L" Veröff, scheil ande soll o ausg "O" Veröff eine "P" Veröff	re Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : entlichung, die den alkgemeinen Stand der Technik definiert, nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist s Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen eldedatum veröffentlicht worden ist entlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er- inen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer ren im Racherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden vider die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie eführt) entlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht entlichung, die vor dem infernationalen Anmekledatum, aber nach beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlichtworden ist	Theorie ängegeben ist  "X" Veröffentlichung von besonderer E  kann allein aufgrund dieser Veröff  erfinderischer Tätigkeit beruhend  "Y" Veröffentlichung von besonderer E  kann nicht als auf erfinderischer T  werden, wenn die Veröffentlichun	ntlicht worden ist und mit der in nur zum Verständnis des der nzips oder der ihr zugrundellegenden Bedeutung; die beanspruchte Erfindung fentlichung nicht als neu oder auf betrachtet werden Bedeutung; die beanspruchte Erfindung ätigkeit beruhend betrachtet g miteiner oder mehreren anderen rie in Verbindung gebracht wird und nann naheliegend ist
	s Abschlusses der internationalen Recherche .  16. Oktober 1998	Absendedatum das internationale 23/10/1998	en Recherchenberichts
	Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter	
	Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patenttaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Sonius, M	

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inta dionales Aktenzeichen
PCT/DE 98/01051

0.5		101752 30	98/01051		
	ung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		To L. A		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht komme	enden Teile	Betr. Anspruch Nr.		
A	ANTHONY N J ET AL: "SUPERVISED ADAPTATION FOR SIGNATURE VERIFICATION SYSTEM" IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, Bd. 21, Nr. 1, Juni 1978, Seite 424/425 XP002060376 siehe das ganze Dokument		1		

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamille gehören

Interionales Aktenzeichen PCT/DE 98/01051

	lm Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		tglied(er) der atentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB :	2104698	Α	09-03-1983	US	4495644 A	22-01-1985
US	4724542	Α	09-02-1988	JP	62177680 A	04-08-1987
US	5052043	A	24-09-1991	EP WO	0527895 A 9117520 A	24-02-1993 14-11-1991

Formblatt PCT//SA/210 (Anhang Patentiamilie)(Juli 1992)

### (12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

## (19) World Intellectual Property Organization International Bureau



### 

### (43) International Publication Date 23 October 2003 (23.10.2003)

**PCT** 

## (10) International Publication Number WO 03/088132 A1

- (51) International Patent Classification<sup>7</sup>: 9/32, 9/46
- G06K 9/00,
- (21) International Application Number: PCT/SG02/00060
- (22) International Filing Date: 12 April 2002 (12.04.2002)
- (25) Filing Language:

English

(26) Publication Language:

English

5

- (71) Applicant (for all designated States except US): KENT RIDGE DIGITAL LABS [SG/SG]; 21 Heng Mui Keng Terrace, Singapore 119613 (SG).
- (72) Inventor; and
- (75) Inventor/Applicant (for US only): MARIANI, Roberto [FR/SG]; Spanish Village, Farrer Road, Block 56 #01-05, Singapore 246688 (SG).
- (74) Agent: AXIS INTELLECTUAL CAPITAL PTE LTD; 21A Duxton Road, Singapore 089487 (SG).

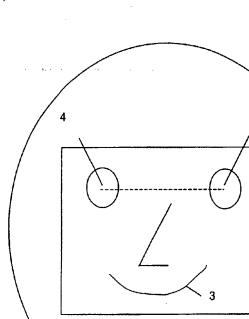
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

#### Published:

- with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: ROBUST FACE REGISTRATION VIA MULTIPLE FACE PROTOTYPES SYNTHESIS



(57) Abstract: A face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of the actual face is captured and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein the face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.

WO 03/088132 A1

# ROBUST FACE REGISTRATION VIA MULTIPLE FACE PROTOTYPES SYNTHESIS

### 5 FIELD OF THE INVENTION

The present invention is generally directed towards face recognition and face verification systems and in particular towards a facial prototype synthesis system able to generate realistic templates and provides a more robust system for registering a face.

10

### BACKGROUND OF THE INVENTION

The classical face recognition approach is to store an image of a person's face, and then to provide a face matching algorithm robust enough to handle varying lighting conditions, facial expressions, face directions, glasses, beard, 15 mustache and facial hair, etc.

In the area of face recognition technology, research has focused almost entirely on developing algorithms that are invariant to the lighting conditions, the facial expressions and the face direction. Such systems obtain simple databases at the expense of complex matching algorithms or family of algorithms. Alternatively, the face recognition systems based on face template matching and neural networks, require a large number of face samples to train the network to an acceptable standard. The operations that are applied to train neural networks are mainly of linear geometric nature, such as scaling or zooming.

25

The problems of these techniques is their weakness in dealing with various lighting conditions, changes of expression as well as time difference between the registration and the time of the observation.

For example, WO 99/53427 provides a technique for detecting and recognizing an object in an image frame. The object identification and recognition process uses an image processing technique based on model graphs and bunch

graphs that efficiently represent image features as jets. The jets are composed of wavelet transforms and are processed at nodes or landmark locations on an image corresponding to readily identifiable features. The authors thus propose a face representation based on a set of feature points extracted from the face images. Face recognition is then realised using a deformable graph matching technique.

WO 98/37507 discloses that to automatically recognize the face of a person in real time or on the basis of a photo document, a digital image of a side view of the head is produced and a profile curve determined by linear extraction. From the profile curve a strongly reduced quantity of data is generated by evaluation algorithms to serve as a model of the person concerned. This allows for especially simple biometric face identification requiring minimum memory space for the model code.

15

In general, attempts to improve face recognition have resulted in various methods and algorithms to extract features and compare features with data stored on a database. However, various conditions and circumstances can still lead to less desirable results, and thus an alternative approach is required to 20 improve face recognition.

### OBJECT OF THE INVENTION

It is therefore an object of the invention to develop a more robust system that is capable of handling changing conditions such as lighting and facial orientation. In particular it is an object to provide a more robust registration process for such a system.

It is a further object to provide a face synthesis system that is able to generate realistic templates taking into account changing conditions.

### SUMMARY OF THE INVENTION

With the above objects in mind the present invention provides in one aspect a face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of the actual face is captured 5 and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein the face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.

The face prototypes may represent possible appearances of the actual 10 face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.

In a further aspect the present invention provides a facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual face is synthesized to 15 create a plurality of face prototypes, said face prototypes representing possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors, and wherein said face prototypes are stored for later use.

In the preferred embodiment the system normalises the captured image such that the eyes are a fixed distance apart and on a horizontal plane. The system may only synthesize the area of the face bounded by the eyebrows and mouth on the assumption that other features such as hair do not significantly alter for recognition and verification purposes. The synthesis may include consideration of alternate eye positions and applying masks to account for changing conditiors and errors.

### BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

Figure 1 shows the area of the face analysed in the preferred embodiment.

30

Figure 2 shows possible eye positions.

Figure 3 shows the use of geometric masks.

Figure 4 shows the use of optical flow approximations.

5 Figure 5 shows the use of exponential and logarithmic functions.

Figure 6 shows an example function for use with a vertical shadow mask.

Figure 7 shows the use of shadow filters.

10

Figure 8 shows an example of manual lighting masks.

Figure 9 shows an example of registering a user in accordance with the preferred embodiment of the present invention.

15

### **DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENT**

As it can be difficult to achieve accurate face recognition due to factors such as changing lighting conditions, the present invention proposes a method or system which relies on a more intensive registration process.

20

Most existing systems will capture an image of a person, and store that image for later comparison. In the present invention, during the registration of a person's face, the system automatically synthesizes a multitude of face prototypes, by creating artificial lighting conditions, artificial face morphing and by modeling the errors of a face location system, especially in the eyes detection process. These face prototypes represent the possible appearances of the initial face under various lighting conditions, various expressions and various face orientations, and under various errors of the face location system. The system obtains for each face, a set of faces that spans the possible appearances the face may have.

Having generated this multitude of face prototypes, data analysis can be applied, like dimensionality reduction (principal components analysis), feature extraction, automatic clustering, self-organising map. The design of a face recognition system based on these face prototypes can also be achieved. Face recognition systems based on face templates (pca) and/or feature vectors (gabor wavelet) may be applied, and they may also use these face clusters for training.

Considering now an example and referring to the figures. Given an image of a person's face and given the position of the two eyes (4, 5), the preferred system first normalizes the image by setting the two eyes (4, 5) on a horizontal plane and at a fixed distance apart, for example 50 pixels. This operation can be realized by a change of scale and rotation. Once the normalized image is created, the system selects the part of the face that is very stable across time, that is the system does not consider the part of the face above the eyebrows and below the mouth 3. That is, the system considers only the part of the face 1 within the box 2 shown in figure 1. Alternatively, other face location systems, may provide the 'face center', from which an estimate of the eyes position can be derived according to human anthropomorphic measures.

Using an existing face location system, it is likely that the eyes' position are imprecise. To propose a robust face encoding system, the present system assumes an error position of the eyes, and for each couple of eyes' positions, the system crops the face accordingly. In practice, the system preferably uses five possible positions per eye, leading to 25 cropped images, as illustrated in Figure 2. Of course, this number can be changed. By nature, this technique encodes rotation, translation and change of scales, as the scale factor is affected by the distance between the two eyes, and the rotation factor is affected by the angle of the two eyes with the horizontal line. In Figure 2, the dots 6 are the eyes detected by the system and the dots 7 are the other possible eyes' positions 30 considered for the registration.

The circle 8 shows the surface error that describes the probable real position of the eye. Any point in this circle could be the real eye center. The ray of the surface error is fixed automatically by the system and depends on the interocular distance between the calculated position of both eyes. For example, for 50 pixels eyes distance, we may say that the eye position is precise at -/+5 pixels.

On each of these cropped and normalized images, the system applies predefined 2D lighting masks and predefined 2D warping or morphing masks and 10 obtains a multitude of face prototypes that are likely to appear during the face location. The system preferably uses three families of lighting masks and 25 families of warping masks although varying numbers can be used. Any number of lighting and warping masks could be used, for example desirable results are being obtained using 16 lighting masks.

15

The system has two kinds of operations that are applied to an input image of a person in order to obtain an output image for storage. Namely, the photometric modification and/or the geometric modification of the image. The photometric modification changes the grey level or the color of a pixel, and the 20 geometric modification modifies the position of this pixel.

The photometric transform can be encoded into the lighting masks and the geometric transform can be encoded into the morphing masks.

The geometric masks can be estimated by various ways, such as manually, semi-automatic or by optical flow estimation between two images. The optical flow estimation is a fully automatic technique exemplified in Figures 3 and 4.

The first row of Figure 3 has three original images, and the last row shows the three generated frontal face images obtained using geometric masks. Here the masks are tuned to generate frontal faces.

In the same way, the first row of Figure 4 contains five input images, the second row contains an approximation of the optical flow between each face and its vertical mirror, and the last row contains an approximation of the frontal face, good enough for a robust face recognition.

Here, we describe five photometric masks. Any number can be generated, but in testing these have proved to be very good for robust face registration, as they approximate real lighting conditions.

10

15

20

### These preferred marks are:

- Logarithmic function on grey-level; which obtains brighter images;
- Exponential stretch on the function; which obtains darker images;
- iii) Vertical shadow that creates vertical half-shadowed faces;
- iv) Horizontal shadow that creates horizontal half-shadowed faces; and
- v) By differentiating images captured from the camera during the masks settings.

If we consider an input image with grey levels ranging from 0 to 1 after a standard grey level normalization process of the form (v-vmin)/(vmax-vmin), where vmin and vmax are respectively the minimum and maximum grey level values of the image, then each of the preferred masks may be described as follows:

### Logarithmic function

Let [Kmin, 255] such that 255 > Kmin > 0. The system builds the lookup table that contains 256-Kmin entries by computing:

LOGLUT[w] = (log(w) + Kmin) - log(Kmin)) / (log(255)-log(Kmin)),

For w = Kmin,...255. The lookup table values are all ranging from 0 to 1. Given the value v of a pixel ranging between 0 and 1, the system

obtains the new grey level value w by w = LOGLUT[(255-Kmin)\*v + Kmin]; w ranges between 0 and 1 and can use other operators.

### **Exponential function**

The system builds the lookup table that contains 256 entries by computering:

$$EXPLUT[w] = (exp(Kmax * w/255.0) - 1) / (exp(Kmax) - 1)$$

For w = 0,...255. The lookup table values are all ranging from 0 to 1. Given the value v of a pixel ranging between 0 and 1, the system obtains the new grey level value w by w = EXPLUT[255\*v]; w ranges between 0 and 1 and we can use other operators.

Figure 5 shows the input image and the image after applying the exponential function with Kmax=4, and the input image and the image after applying the logarithmic function with Kmin=32. The system could generate an infinite number of such images by making varying Kmin and Kmax.

### Vertical shadow/ Horizontal shadow

As the two processes are identical, we describe only the vertical shadow 20 process for the abscissas x. This function creates a modification of the grey level of a pixel depending on its spatial position in the image. Here we apply it line by line. An infinite number of functions can be used. For the sake of simplicity, we describe one function. Let X be the width of the image, and let  $0<\lambda<1$  real coefficient, and let  $m=\lambda^*X$ . We define the following function f(x), depending on the 25 value of  $x \in [0,X]$ :

$$F(x) = x / m \text{ if } x \in [0,m]$$
  
 $F(x) = 1 + (x-m)/(X - m) \text{ if } x \in [m,X].$ 

Such a function can be seen in Figure 6. Here X=200 and  $\lambda$ =0.2. For a 30 given abscissa x, F(x) is a coefficient that varies between [0,2].

Given a pixel p=(x,y) with a grey level v, the system obtains in the output image a pixel q=(x,y) with a grey level computed w =v\*F(x). Thus, the m first pixels will become darker, the first one at position 0, totally dark, the mth pixel will be unaffected (in Figure 6, the 40<sup>th</sup> pixel 200\*0.2 = 40), and the pixels at abscissa greater than m will become brighter. Figure 7 illustrates the process with 5 different shadow filters, from the left original image.

The horizontal process applies to the ordinate y, and uses the height of the image Y, in exactly the same manner.

10

2D masks as combination of two 1D masks.

Here we define a mask F such that F(x,y) = Fx(x)\*Fy(y). For each pixel p=(x,y) with grey level v, we obtain the new grey level w=v\*F(x,y).

### 15 2D masks.

These masks are a generalization of the previous mono-dimensional masks, and a coefficient is defined for each pixel F(x,y). The system then obtains a 2D mask that modifies the value v of the pixel p=(x,y), in w = v+F(x,y). These masks can be built manually, by capturing several identical images and by changing the lighting conditions of the room during the image capture. In such a case, if we define the neutral image as I, and all the other images as I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, ..., I<sub>N</sub>, the system derives N masks by differentiating I with I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, ..., I<sub>N</sub>: and we obtain F<sub>1</sub> = I-I<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>=I-I<sub>2</sub>, ..., F<sub>N</sub>=I-I<sub>N</sub>. Thus, we modify the value of the pixel p = (x,y), in w=v+F(x,y). Figure 8 illustrates a face capture where the light varies to set up manual lighting masks, by differentiating with the first image. Once again, these masks can be normalized between 0 and 1.

### Filter cascading

A synthetic prototype can be obtained by applying several masks to the original normalized image. Let I be the original normalized image,  $F=\{F_1,F_2,...,F_N\}$  the set of successive masks, and O the obtained synthetic prototype. We have  $O=F_N(...F_2(F_1(I))...)$ . In some specific cases, we may have  $F_N(...F_2(F_1(I))...)$ 

Fn(...F2(F1))(I) = M(I), leading to a much more efficient computation, as the mask  $M = F_N(...F_2(F_1)...)$  can be estimated in advance by a combination of masks.

Figure 9 illustrates images obtained during the registration of a user. In 5 this example the preferred system took the 5 leftmost (first column) images to register robustly this person, at a resolution of 15x15 pixels. The grey levels intensity of each image have been re-normalized between 0 and 255.

This set of generated faces could be used in any application using faces as if it was produced online by any camera or video input devices. For example, it can be used in face recognition, face verification, face feature extraction, face retrieval, video conferencing systems, neural network or auto-associative memory training, etc.

By storing multiple possible appearances of the same face, the system increases the probability of retrieving the correct face across lighting conditions, expressions and face directions. The system therefore compensates for the weaknesses of previous methods although does obtain a more complex database.

20

The system does increase the probability of confusion with another face, but experiments have shown that the best match between two identical persons is statistically higher than the best match between two different persons. As these transforms are applied identically to all the faces, all are penalized or favored in the same way, which is enough to justify this experimental fact. In other words, it is more likely that the registration transforms the face into a future observed face of the same person, than it transforms someone else's face into this future observed face.

The system extends the representations to non-linear geometric transformations and non-linear photometric transformations, to synthesize realistic face prototypes. This is equivalent to an expansion of the training set for

a better generalization of the neural network. The key of this robust registration is to apply allowable transformation to the face image, using face morphing and applying synthesized lighting conditions that approach reality. These transformations are applied to a face for which the eyes coordinates are already known. Another key issue is that the registration process considers errors in the positioning of the eyes that are due to the eyes detection algorithm.

Given a face image and the two eyes positions, the present system is able to synthesize realistic faces from a single face, to provide a robust registration which in turn leads to a robust face recognition/verification algorithm. The consideration of errors in eyes detection, the synthesize of the lighting effects, as well as the face morphing can use pre-registered masks. Their combination allows the creation of a multitude of synthetic faces that are likely to be encountered during the future face recognition tasks.

15

The subsequent face retrieval algorithm can be straightforward, as the registration process has undertaken most of the difficulties.

The invention has been particularly described with reference to face recognition systems to assist in the understanding of the invention. However, the present invention proposes a way to generate artificial and likely face prototypes from a single face, by creating artificial light effects, artificial face direction and by modeling the localization errors of a face location system, for the purpose of robust face feature extraction or robust face registration. That is the present invention is a facial prototype synthesis system, that generates automatically realistic templates from a single image and not merely a face recognition system. Lighting conditions masks, warping masks and eyes position errors are used to achieve a robust face generation.

Apart from improving face recognition systems the present invention could also be used to improve current face recognition and face verification systems, by transforming and expanding the existing databases containing the faces of the

WO 03/088132 PCT/SG02/00060

12

people, automatically, without recapturing all the photos, under all the face directions, all the lighting conditions, all the scales and rotations.

The present invention therefore proposes a way to generate artificial and 5 likely face prototypes from a single face, by creating artificial light effects, artificial face direction and by modeling the localization errors of a face location system, for the purpose of robust face feature extraction or robust face registration.

Whilst the method and system of the present invention has been summarised and explained by illustrative example it will be appreciated by those skilled in the art that many widely varying embodiments and applications are within the teaching and scope of the present invention, and that the examples presented herein are by way of illustration only and should not be construed as limiting the scope of this invention.

## **CLAIMS:**

- 1. A face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of said actual face is captured and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein said face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.
- The system as claimed in claim 1 wherein said face prototypes represent
   possible appearances of said actual face under various lighting conditions,
   varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.
  - 3. The system as claimed in claim 1, wherein comparison of said face prototypes and captured image uses a face matching algorithm.

15

5

- 4. The system as claimed in claim 1, wherein comparison of said face prototypes and captured image uses face templates or feature vectors.
- 5. The system as claimed in any preceding claim, wherein synthesizing of said actual face includes normalising said actual face image.
  - 6. The system as claimed in claim 5, wherein normalising includes rotating said actual face image to bring eyes of said actual face image to a horizontal plane.

25

- 7. The system as claimed in claim 5 or claim 6, wherein normalising includes scaling said actual face image such that the eyes are a fixed distance apart.
- 8. The system as claimed in claim 7, wherein said eyes are fixed at 50 pixels 30 apart.

- 9. The system as claimed in any preceding claim wherein the area above the persons eyebrows and below the persons mouth is not synthesized.
- The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of
   said actual face includes determining alternative positions for each eye so as to compensate for possible errors.
  - 11. The system as claimed in claim 10, wherein five alternative positions are determined for each eye.

10

20

- 12. The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of said actual face includes applying at least one predefined lighting mask to said actual face image.
- 15 13. The system as claimed in claim 12, wherein three to 16 predefined lighting masks are used.
  - 14. The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of said actual face includes applying at least one predefined warping mask to said actual face image.
  - 15. The system as claimed in claim 14, wherein 25 predefined warping masks are used.
- 25 16. The system as claimed in claim 12 or claim 13, wherein said at least one lighting mask includes photometric transform.
  - 17. The system as claimed in claim 14 or claim 15, wherein said at least one warping mask includes geometric transform.

30

18. The system as claimed in claim 17, wherein said geometric transform is estimated using optical flow estimation.

10

15

19. The system as claimed in claim 16, wherein said photometric transform includes at least one of:

algorithmic function, exponential stretch, vertical shadow, horizontal shadow and differentiating image.

- 20. A facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual face is used to create a plurality of face prototypes, said face prototypes representing possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors, and wherein said face prototypes are stored for later use
- 21. The system as claimed in claim 20, wherein said actual face image is normalized prior to creating said face prototypes.

22. The system as claimed in claim 21, wherein normalising includes rotating said actual face image to bring eyes of said actual face image to a horizontal plane.

- 20 23. The system as claimed in claim 21 or claim 22, wherein normalising includes scaling said actual face image such that the eyes are a fixed distance apart.
- 24. The system as claimed in claim 23, wherein said eyes are fixed at 50 pixels apart.
  - 25. The system as claimed in any one of claims 20 to 24, wherein the area above the persons eyebrows and below the persons mouth is not synthesized.
- 30 26. The system as claimed in any one of claims 20 to 25, wherein to create said face prototypes said system determines alternative positions for each eye so as to compensate for possible errors.

- 27. The system as claimed in claim 26, wherein five alternative positions are determined for each eye.
- 5 28. The system as claimed in any one of claims 20 to 27 wherein to create said face prototypes said system applies at least one predefined lighting mask to said actual face image.
- 29. The system as claimed in claim 28, wherein three to 16 predefined lighting10 masks are used.
  - 30. The system as claimed in one of claims 20 to 29 wherein to create said face prototypes said system applies at least one predefined warping mask to said actual face image.

15

- 31. The system as claimed in claim 30, wherein 25 predefined warping masks are used.
- 32. The system as claimed in claim 28 or claim 29, wherein said at least one lighting mask includes photometric transform.
  - 33. The system as claimed in claim 30 or claim 31, wherein said at least one warping mask includes geometric transform.
- 25 34. The system as claimed in claim 33, wherein said geometric transform is estimated using optical flow estimation.
  - 35. The system as claimed in claim 32, wherein said photometric transform includes at least one of:
- algorithmic function, exponential stretch, vertical shadow, horizontal shadow and differentiating image.

- 36. The system as claimed in claim 20, wherein said face prototypes are generated by applying photometric and/or geometric transforms to said image.
- 37. A facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual face is normalised and synthesized by determining possible alternative eye positions and applying at least one mask to said image to create a plurality of face prototypes, and wherein said face prototypes represent possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.

WO 03/088132 PCT/SG02/00060

1/5

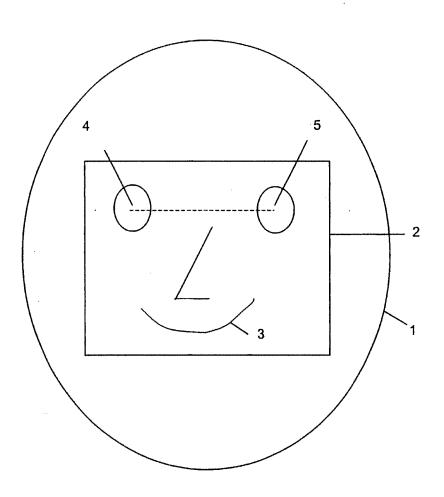


Figure 1

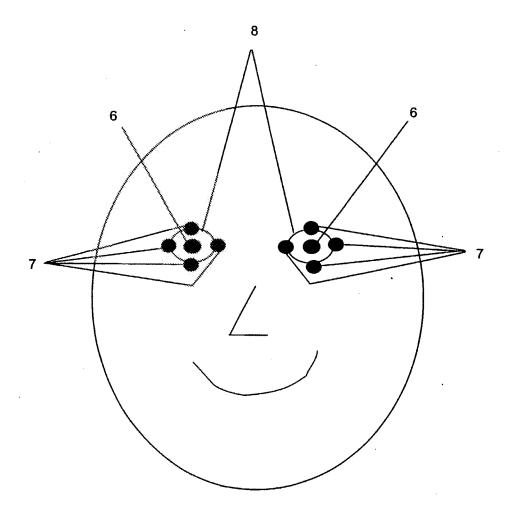


Figure 2

3/5

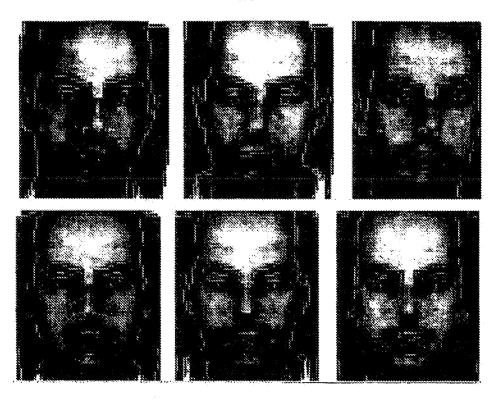


Figure 3

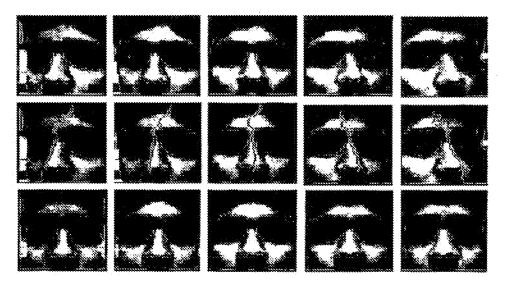


Figure 4



Figure 5

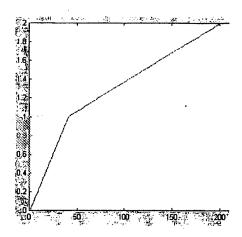


Figure 6



Figure 7

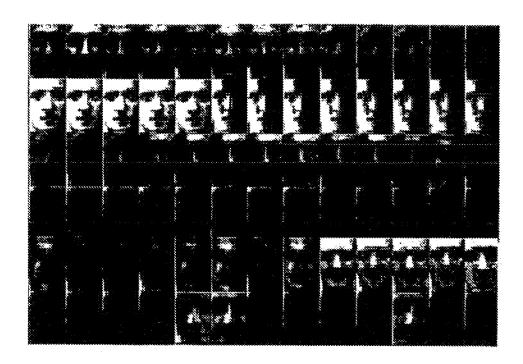


Figure 8

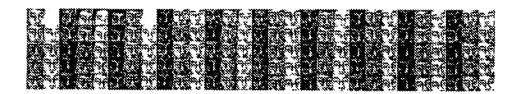


Figure 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

application No.

MIHATSEK

Telephone No. 1/53424/329

## PCT/SG 02/00060 **CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER** IPC7: G06K 9/00; G06K 9/32; G06K 9/46 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC7: G06K Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Wpi, epodoc, pai C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No. Α EP 0806739 A (Lucent) 12 November 1997 (12.11.97) 1-7,20-27,37 claim 1, summary, fig.1-3. US 6072894 A (Payne) 6 June 2000 (06.06.00) Α 1,20,37 claims 9,10,17; fig. 3,5,6. US 6345109 B1 (Nagao) 5 February 2002 (05.02.02) Α 1,20,37 claims 1-3. Α US 5991429 A (Ingram Darley) 23 November 1999 (23.11.99) 1,20,37 claims 2-5; fig. 1-8. Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex. Special categories of cited documents: ...T" later document published after the international filing date or priority ..A" document defining the general state of the art which is not date and not in conflict with the application but cited to understand considered to be of particular relevance the principle or theory underlying the invention ..E" earlier application or patent but published on or after the international ..X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be filing date considered novel or cannot be considered to involve an inventive step .L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is when the document is taken alone cited to establish the publication date of another citation or other "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be special reason (as specified) considered to involve an inventive step when the document is "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art .P" document published prior to the international filing date but later than ...&" document member of the same patent family the priority date claimed Date of the actual completion of the international search Date of mailing of the international search report 17 May 2002 (17.05.2002) 18 June 2002 (18.06.2002) Name and mailing adress of the ISA/AT Authorized officer

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

Kohlmarkt 8-10: A-1014 Vienna

Austrian Patent Office

Facsimile No. 1/53424/535

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PC\_/SG 02/00060-0

	Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP	A1	6739	09-01-1980	AR	A1	219611	29-08-1980
EP	<b>B1</b>	6739	13-10-1982	AT	E	1636	15-10-1982
				AU	A1	48321/79	.03-01-1980
				ΑÜ	B2	524976	14-10-1982
				BR	A	7903951	04-03-1980
				CA	A1	1118357	16-02-1983
				DE	A1	2925087	10-01-198
				DE	CO	2963843	18-11-198
				DK	A	2632/79	24-12-197
				DK	В	156695	25-09-198
				DK	C	156695	05-02-199
				ES	A1	481841	16-06-198
				ES	A5	481841	15-07-198
				FI	A	791997	24-12-197
				FI	В	72427	27-02-198
				FI	C	72427	08-06-198
				FR	Al	2429016	18-01-198
				FR	B1	2429016	06-01-198
				GB	Al	2027419	20-02-198
				GB	B2	2027419	28-07-198
				IE	В	48159	17-10-198
				IN	A	151014	12-02-198
				JP	A2	55002699	10-01-198
				JP	B4	62054767	17-11-198
				NL	Α	7904859	28-12-197
				NO	A	792103	28-12-197
				NO	В	155376	15-12-198
				ИО	С	155376	25-03-198
				NZ	A	190824	27-04-198
				PH	A	15845	08-04-198
				US	A	4359456	16-11-198
				ZA	A	7903122	25-02-198
				AT	A	109/77	15-02-198
				AT	В	372278	26-09-198
				AU	A1	21205/77	20-07-197
				AU	B2	514801	26-02-198
				CA	A1	1115930	12-01-198
				CH	A	638097	15-09-198
				GB	A	1568831	04-06-198
				IT	A	1116608	10-02-198
				NZ	A	183032	06-07-198
				PH	A	14185	26-03-198
				PH	A	15188	10-09-198
US	A	5991429	23-11-1999	ΑU	A1	54635/98	29-06-199
				WO	A1	9825229	11-06-199
US	A	6072894	06-06-2000			none	
ŲS	BA	6345109	05-02-2002	JP	A2	10171988	26-06-199
				JР	A2	10228543	25-08-199

PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1998)